



CAMBIOS EN LA LÍNEA DE COSTA RELACIONADOS A PROCESOS DE EROSIÓN Y DEPOSITACIÓN EN EL PARTIDO DE PUNTA INDIO (BUENOS AIRES, ARGENTINA) MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES DE RESOLUCIÓN MEDIA.

D'AMICO, Gabriela^{1,2,4}, FUCKS, Enrique.¹⁵, SALINAS SALMUNI, Graciela³, CARUT, Claudia.²

¹Centro de Estudios Integrales de la Dinámica Exógena (CEIDE-UNLP). Calle 64 N°3, La Plata.
gabrieladamico@live.com.ar

²Centro de Investigaciones geográficas (CIG-UNLP) Calle 51 e/124 y 125 s/n.
cigeo_unlp@fahce.unlp.edu.ar

³ Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE)
gsalmuni@conae.gov.ar

⁴Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

⁵IAMRA.

RESUMEN

La costa del partido de Punta Indio se extiende a lo largo de 70 km. sobre el área intermedia y externa del estuario del Río de la Plata, siendo modelada por las dinámicas litorales del mismo. Las mismas, en orden de importancia, están constituidas por las mareas astronómicas, los vientos, la deriva litoral de sedimentos S-N –en episodios de alta energía del oleaje–, y la descarga de los ríos tributarios de la cuenca del Plata al estuario. La totalidad de la extensión de sus costas han sido valoradas por sus servicios ambientales para el establecimiento de dos áreas protegidas: la reserva de Biósfera Parque Costero del Sur, y el Sitio RAMSAR Bahía Samborombón. Si bien la ocupación humana es escasa y puntual, se observan en la localidad de Punta del Indio algunas modificaciones antrópicas en su línea de costa, producto de una organización territorial de vocación turística. El presente trabajo tiene como objetivo determinar cambios en la línea de costa en el litoral noreste del partido de Punta Indio, relativos a procesos de erosión y depositación sedimentaria, a través del análisis multitemporal de imágenes satelitales Landsat 5 y 8. Se seleccionaron tres cortes temporales: 1984, 2000 y 2015, cuyas imágenes satelitales fueron pre-procesadas, aplicando correcciones geométricas y radiométricas. Para realzar la línea de costa se analizaron los comportamientos espectrales de las diferentes bandas de las imágenes. Es conocido que la banda del infrarrojo cercano presenta valores de reflectancia muy bajos, cercano a cero en el agua y valores altos en las coberturas terrestres. Sin embargo, la banda del infrarrojo medio presenta el mejor balance espectral de las tierras y el agua. Otra técnica que se usó para extraer la interface tierra-agua fue aplicar el cociente entre la banda del verde (B2) y la banda infrarrojo medio (B5). Otro procesamiento que se usó fue el Análisis de Componentes Principales (ACP). En base a este análisis, se detectaron zonas de dinámicas erosivas – en las

cercanías de la localidad de Punta del Indio-, zonas con alternación de dinámicas erosivas/sedimentarias –en torno a Punta Piedras- y zonas estables –hacia el norte del área de estudio-. Según registros en fuentes cartográficas históricas, la zona más erosionada presentaba una fisonomía de “punta” -Punta Memoria - hacia fines del siglo XIX, siendo ocupada por dos hoteles en la década de 1940, durante el periodo en que la organización territorial conformó una vocación turística. Hoy derruidos, las bases de los mismos están interrumpiendo la erosión completa de la punta. El proceso erosivo está afectando de manera significativa el principal balneario de la localidad.

PALABRAS CLAVE: LÍNEA DE COSTA, EROSIÓN, SEDIMENTACIÓN, DINÁMICAS LITORALES

ABSTRACT

Punta Indio coastline extends 70 km along the intermediate and external area of the Rio de la Plata estuary, being modeled by its littoral dynamics. They are, in order of importance, astronomical tides, winds, littoral S-N sediments drift –during high energy wave’s episodes-, and tributary Plata basin rivers discharge to the estuary. The whole extension of its coast has been assessed for its environmental services, and establishment of two protected areas were established: Parque Costero del Sur Biosphere Reserve, and the Bahía Samborombón RAMSAR site. Even when the human occupation is scarce and punctual, some anthropogenic modifications are observed in Punta Indio locality coastline, as a result of a territorial organization with a touristic vocation. The aim of this work is to determinate changes in the coastline of the Northeast littoral of Punta Indio, related to erosion and sedimentation processes, by the multitemporal analysis of Landsat 5 and 8 satellite images. Three temporal sections were selected: 1984, 2000 and 2015. The images were pre - processed applying geometric and radiometric corrections. To enhance the coastline, the spectral behaviors of the images were analyzed. It is known that the near infrared band shows very low reflectance values, close to zero in the water and high values in the land covers. However, the mid-infrared band shows the best spectral balance of water and land. In order to enhance the water-land interface the ratio between green band and mid infrared band was used. Other used processing was the Principal Component Analysis (PCA). On the basis of this analysis, erosive dynamic zones were detected –near Punta del Indio locality-, as well as erosive/sedimentary alternation areas –around Punta Piedras-, and stable zones –North of the study area-. According to historical cartographical resources, the most eroded zone presented a headland physiognomy – Punta Memoria – by the end of the 19th century, being occupied by two hotels in the 1940’s, during the period in which the territorial organization constituted a tourist vocation. Nowadays demolished, the hotels foundations are interrupting the complete headland erosion. The erosive process is significantly affecting the locality’s principal beach.

KEYWORDS: COASTLINE, EROSION, SEDIMENTATION, LITTORAL DYNAMICS.



INTRODUCCIÓN

Los litorales costeros constituyen espacios geográficos particulares de alta fragilidad, contruidos como resultado de una relación dialéctica entre su medio físico -interface entre los medios acuático, atmosférico y terrestre-, y la valoración que la sociedad hace de los mismos, en respuesta a climas de ideas que valoran ciertas racionalidades dominantes, que dan como respuesta una particular organización espacial.

La zona litoral del estuario del Río de la Plata en su margen argentina ha sido valorada, desde su poblamiento originario hasta la actualidad, para el asentamiento poblacional y el despliegue de actividades económicas que aseguraran la reproducción social y permanencia de dicha población. Sin embargo la valoración de la misma acusa importantes diferencias. Mientras que hacia el sur de la Región Metropolitana de Buenos Aires -entre el Riachuelo y la ciudad de Berisso-, la valoración estuarial ha definido históricamente vocaciones urbanas, industriales y comerciales, al sur de esta ciudad la valoración ha sido puntual, en función de lógicas complementarias o marginales a la metrópoli. Se puede mencionar la coexistencia de vocaciones turísticas, industriales, urbanas, de reserva, agrícola-ganaderas, mineras, entre otras.

Geomorfológicamente, la costa argentina del estuario rioplatense constituye una llanura de escasa pendiente, conformada por sedimentos litorales y estuáricos, generados durante la transgresión marina holocena. Las dinámicas naturales actuales que la modelan son las mareas astronómicas -régimen micromareal semidiurno-, los vientos y su energía desplegada en el oleaje, la deriva S-N -en episodios de alta energía del oleaje proveniente del sudeste-, y la descarga de agua y sedimentos de los ríos tributarios de la cuenca del Plata al estuario.

Sus dos principales tributarios, el río Paraná y el Uruguay, aportan un caudal medio de 17.000 m³/seg. y 5.450 m³/seg. sobre el estuario, respectivamente, con abundante materia en suspensión (Nagy et al, 1997). La descarga puede variar estacionalmente, con picos máximos en junio y mínimos en enero. Parámetros hidrodinámicos relacionados con el caudal, las mareas, los vientos, la salinidad y el material en suspensión permiten delimitar tres zonas con características diferenciales: interna, intermedia y externa (Urien, 1972). Es en la zona intermedia, en donde se localiza el área de estudio, donde la concentración de sedimentos en suspensión es mayor.

Caso de estudio. La costa noreste del partido de Punta Indio

En el presente trabajo⁷ se abordará una porción de la costa de la zona intermedia del estuario, que constituye la margen noreste del Partido de Punta Indio, con una extensión aproximada de 30km. La misma se desarrolla en su totalidad sobre áreas protegidas: la Reserva de Biósfera “Parque costero del Sur”, constituida en 1984, y el Refugio de Vida Silvestre y Reserva Natural Bahía Samborombón, coexistiendo hacia el sur con el Sitio Ramsar Bahía Samborombón, creados en 1997 (ver Figura 1). Si bien el asentamiento poblacional en dicha costa es escaso y puntual, se destaca la localidad de Punta del Indio (569 habitantes en 2010, INDEC), de marcada vocación turística, donde se emplazan materialidades vinculadas a antiguos equipamientos turísticos que podrían estar influyendo en la disposición de la línea de costa en la actualidad.

⁷ Este trabajo se enmarca dentro del proyecto de tesis doctoral de la Lic. Gabriela D'Amico, bajo el título “Análisis de las transformaciones territoriales en la zona costera del estuario del Río de La Plata en las últimas seis décadas, entre Berisso y Punta Rasa, provincia de Buenos Aires”; Director: Carut, Claudia, Co-director: Fucks, Enrique, para optar por el grado de Doctor en Geografía en la Universidad Nacional de La Plata .

Regionalmente, la costa está conformada por una serie de entrantes y salientes y una apariencia crenulada en planta de detalle. Gran parte de la extensión presenta, como rasgo distintivo, un pequeño escalón o barranca cuya altura puede superar los 1.5 metros, en algunos casos (ver fotografía B2 y D en Figura 2 obtenidas en el trabajo de campo). En otras zonas, la barranca desaparece y la costa presenta un suave declive y está cubierta con vegetación (fotos A y C en Figura 2). Las variaciones temporales y espaciales de esta línea atestiguan los cambios en la dinámica costera.

A los fines de adoptar criterios de delimitación de la línea de costa para el área de estudio, se tomará como indicador el pie de barranca, o la línea de vegetación contigua a la playa que no es afectada por las mareas (Kokot et al., 2011). Asimismo, en aquellos sitios donde se presentan construcciones (murallones y defensas menores), el límite de las mismas hacia el río será considerado como línea de costa. Sin embargo, las imágenes satelitales de resolución media no permiten resolver esta delimitación con exactitud, por lo que se adoptará como indicador la separación entre los píxeles de agua y tierra.

La aplicación de técnicas de teledetección para determinar la posición de la línea de costa permite la extracción automática de la misma, basándose en el comportamiento espectral de las diferentes cubiertas, prescindiendo de la experiencia o pericia del operador (Rodríguez, 1999).

El objetivo del presente trabajo es detectar cambios en la línea de costa del partido de Punta Indio entre 1984, 2000 y 2015, relativos a procesos de sedimentación y erosión costera, a través del análisis multitemporal de imágenes satelitales de resolución media por medio de tres técnicas. Se comparará la efectividad de las mismas, y se seleccionará la técnica pertinente para cuantificar la superficie acrecionada y erosionada entre pares anuales.

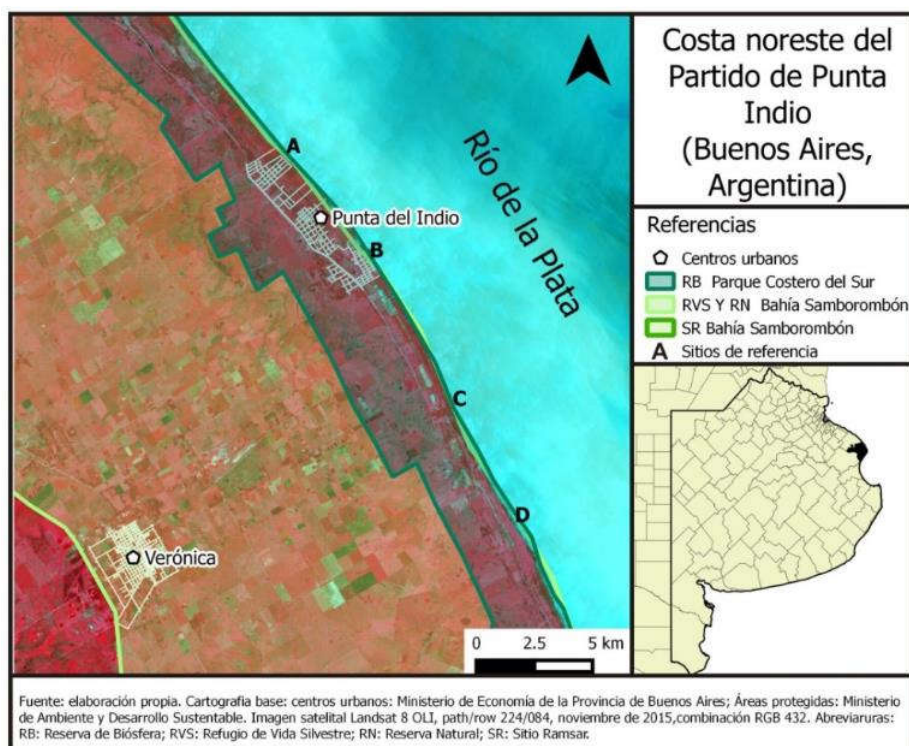


Figura 1: Mapa de localización de la zona de estudio. Imagen satelital provista por CONAE, 2015.

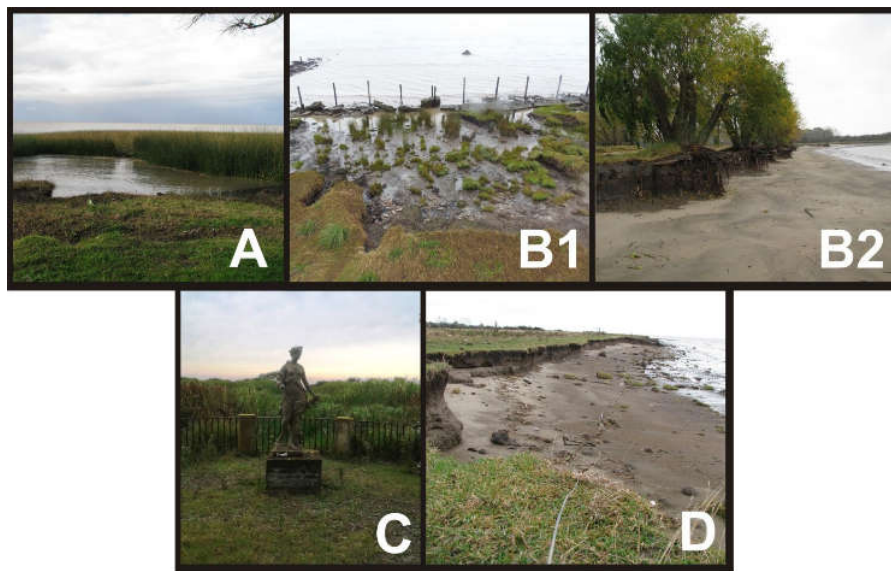


Figura 2: situación actual de la línea de costa para los sitios de referencia A,B,C y D de la imagen 1.
A: Balneario Sarandí; B1: Ex Hotel Argentino; B2: Balneario El Picaflor; C: Estancia Luis Chico; D: puesto de Prefectura. Fotos adquiridas en el trabajo de campo. Imágenes propias, 2015/16.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

La definición de la línea de costa no resulta sencilla por la variabilidad, incluso en el corto plazo, de las dinámicas que configuran la misma. Para su delimitación, es imperativo definir indicadores o “proxies” específicos. Las herramientas brindadas por la teledetección facilitan la localización de la línea de costa en base al análisis de los diferentes comportamientos espectrales de las diferentes coberturas presentes en la imagen. En costas micromareales, como la del área de estudio, donde la amplitud mareal es de unas pocas decenas de centímetros en el plano vertical (Menéndez y Re, 2005), y pocos metros en el plano horizontal, las imágenes satelitales de resolución media resultan efectivas para realizar el análisis dinámico de la línea de costa, debido a que el error de cálculo es inferior al píxel (30 metros).

Para la detección de los cambios en la línea de costa del partido de Punta Indio, fueron seleccionadas imágenes de series satelitales Landsat, Path/Row 224/084, para tres cortes temporales: 1984, 2000 y 2015, todas pertenecientes a la estación primaveral⁸. La imagen correspondiente al año 1984 pertenece al satélite Landsat 5, sensor Thematic Mapper (TM), mientras que la imagen del año 2000 es de la serie Landsat 7, sensor Enhanced Thematic Mapper + (ETM+). Ambas fueron obtenidas del servidor United States Geological Service (USGS). La imagen correspondiente al año 2015 es de la serie Landsat 8, sensor Operational LandImager (OLI), obtenida por medio de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE). Las bandas de este último sensor proporcionan una mejora con respecto a misiones anteriores,

⁸ La selección de esta estación del año se debe a ser posterior al periodo invernal, en donde la dinámica del estuario, en relación principalmente a los vientos, es más intensa. Particularmente en relación a las sudestadas, vientos regulares a fuertes, con velocidades de más de 35 km/h del sector sudeste. Si bien la frecuencia de las mismas es mayor en el mes de octubre, las sudestadas más fuertes –y por lo tanto, con alto potencial erosivo- ocurren en el mes de junio (SMN, 1997).

incorporando además una nueva banda en el azul visible y un nuevo canal en el espectro infrarrojo para la detección de cirrus.

Métodos

Para la detección de los cambios en la línea de costa:

1- Preprocesamiento: las imágenes fueron corregidas radiométricamente. A la imagen del año 2000 se le efectuó una corrección geométrica, georreferenciando la misma con respecto a la imagen de 2015, utilizando al menos 20 puntos de control (con un error menor al pixel, de 30 metros).

2- Delimitación de la línea de costa

En primer lugar, se seleccionaron tres variables para distinguir entre coberturas tierra-agua: 1) la banda del infrarrojo medio (MIR), siguiendo a Lan et al. 2013, y Hung y Tuyen, 2014; 2) el cociente entre la banda verde y la banda MIR, tomado de Lan et al., 2013 y 3) Análisis por Componentes Principales, (Pardo Pascual et al., 2008; Rodriguez et al. 2013).

Alternativamente, otros autores utilizaron variables como el Índice de Vegetación Normalizado (NDVI) (Rodriguez et al., 2013), y el cociente entre la banda verde y la banda del Infrarrojo Cercano (IRC) (Winarso y Budhiman, 2001; Hung y Tuyen, 2014).

Posteriormente, se aplicaron las tres variables mencionadas a la imagen Landsat 8 OLI del año 2015. Para binarizar cada imagen en valores 0 (tierra) y 1 (agua), se eligió un umbral (utilizando el histograma de cada imagen). Por último, se validaron las tres imágenes binarizadas resultantes utilizando como imagen de referencia la banda pancromática de la imagen del año 2015 (con un píxel de 15 metros) donde se distinguen más claramente las coberturas tierra y agua.

La variable con mayor porcentaje de coincidencia entre coberturas fue aplicada a las imágenes Landsat 5 TM y Landsat 7 ETM+. Finalmente, se construyó una imagen RGB multitemporal, y se efectuó un análisis visual (composición de color) y cuantitativo, realizando una clasificación supervisada.

A continuación, se detalla cada variable seleccionada para distinguir las coberturas de tierra y agua.

2.1. Análisis de la banda del infrarrojo medio (MIR)

Si bien autores como Pardo Pascual et. al (2008) utilizan la banda del infrarrojo cercano (Near Infrared Band – NIR) para distinguir coberturas tierra-agua según niveles de reflectancia altos y bajos respectivamente, la banda del infrarrojo medio (Middle InfraRed - MIR) ha demostrado tener mejores resultados para efectuar dicha diferenciación (Lan et al., 2013; Hung y Tuyen, 2014). El agua pura presenta una reflectividad baja en general, aunque dependiente de la longitud de onda, absorbiendo prácticamente la totalidad de radiación en el espectro del infrarrojo cercano (NIR) y medio (MIR), por lo que se visualizará con colores oscuros en estas bandas. Sin embargo, las aguas del Río de la Plata presentan elevada turbiedad (apreciada en tonos de celeste en la figura 1), lo que influye que su reflectividad se mantenga aún en parte del espectro del NIR, disminuyendo a niveles nulos en el MIR, por lo que se ha seleccionado esta última banda para establecer la separación entre coberturas acuática y terrestre.

2.2. Análisis según cociente entre bandas

El cociente entre bandas (band ratio) es utilizado para destacar ciertos rasgos de la superficie o materiales que no pueden ser discernidos utilizando únicamente las bandas originales de la imagen (Inzana et al, 2003). Con el objetivo de separar píxeles de tierra y agua, se aplicó el cociente entre la banda verde del espectro visible, y la banda del MIR. El agua presenta una alta absorción en las bandas infrarrojas, particularmente la banda del infrarrojo medio, mientras que la reflectancia de la vegetación y el suelo en estas bandas es alta. El cociente Green/MIR resulta en una medición de la diferencia en reflectancia para ambas bandas, siendo el cociente generalmente mayor a 1 para agua, y menor a 1 para tierra (Lan et al., 2013).

2.3. Análisis por componentes principales (ACP)

El análisis por componentes principales (ACP) permite resumir un amplio número de variables en un conjunto más pequeño, sin reducir la información original de las imágenes. Las imágenes satelitales que presentan bandas adyacentes del espectro electromagnético poseen información redundante, producto de que los tipos de cobertura presentan un comportamiento similar en regiones cercanas del espectro, por lo que mediciones realizadas en una banda pueden presentar correlaciones con otras bandas (Chuvieco, 1995).

Debido a que, estadísticamente, el ACP permite interpretar la variabilidad de una imagen, es posible identificar rasgos que son comunes a la mayoría de las bandas, en los primeros componentes, y otros que son específicos en algún grupo de ellas, en los últimos componentes (Ferrero et al., 2005).

En el presente estudio, fue seleccionado el primer componente principal por ser el que representa de manera más clara la diferenciación entre tierra y agua. Cabe destacar que se excluyó de este análisis a la banda 1 del satélite Landsat 8 porque el rango del espectro electromagnético correspondiente a esta banda (longitud de onda de 0,43 a 0,45 micrómetros) no se encuentra presente en las imágenes satelitales Landsat 5 y 7.

RESULTADOS

Validación de las variables seleccionadas

Con el fin de validar las variables obtenidas, en razón de una posterior clasificación y cuantificación de áreas acrecionadas y erosionadas, se seleccionó la imagen Landsat 8 OLI del año 2015. Las imágenes obtenidas por medio de las variables *banda MIR* y *ACP* -primer componente- fueron umbralizadas para distinguir dos coberturas: tierra y agua. Los valores para establecer la umbralización fueron calculados a partir de los histogramas de las imágenes (ver Figura 3). En tanto, a la imagen obtenida a través del cociente verde/MIR se le asignaron valores mayores a 1, para la cobertura de agua, y menores a 1, para la cobertura de tierra, como se explicó en el apartado anterior.

Esta validación se considera extrapolable al resto de las imágenes debido a que fue efectuada, con anterioridad, la corrección geométrica y radiométrica de las mismas.

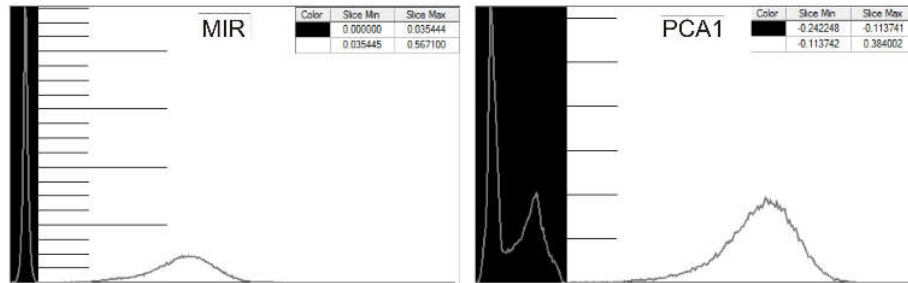


Figura 3. Umbral seleccionado en base al histograma de los valores de reflectancia para las imágenes obtenidas de las variables MIR y PCA1, respectivamente. Imagen base: Landsat 8 OLI, 2015. Elaboración propia.

Para construir la validación, se comparó, en una matriz de confusión, la imagen binarizada agua-tierra obtenida con cada variable con la banda pancromática de la imagen Landsat 8, 2015, a través de la demarcación de 186 puntos de control a lo largo de la costa. La mitad de los puntos (puntos impares) fueron asignados a coberturas de tierra, mientras que la mitad restante (puntos pares), se asignaron a coberturas de agua (Ver Figura 4).

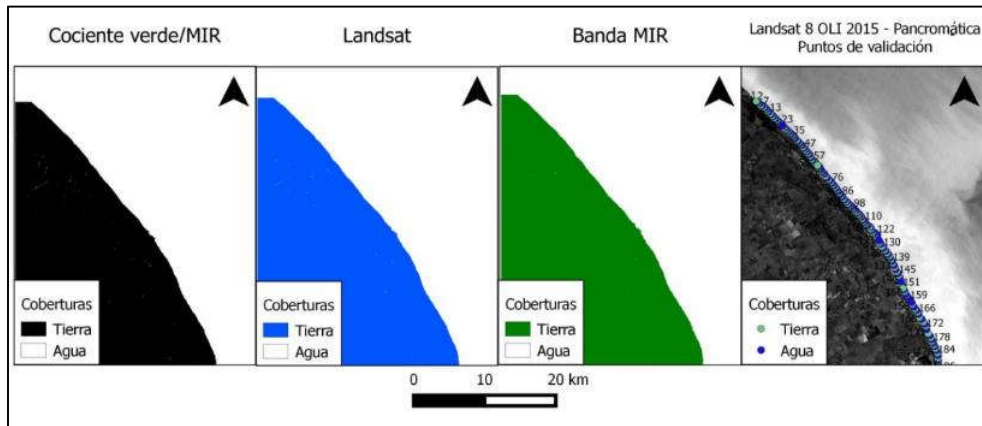


Figura 4: imágenes binarias tierra-agua para las variables seleccionadas, e imagen pancromática con puntos de control. Imagen satelital provista por CONAE, 2015.

Los resultados de la matriz de confusión fueron los siguientes.

Tabla 1: matriz de confusión entre las coberturas tierra-agua (Landsat (OLI, 2015, pancromática) y las variables seleccionadas. Fuente: elaboración propia.

Variables	Porcentaje de coincidencia entre coberturas		
	Pancro tierra	Pancro agua	Total
Cociente Verde/MIR tierra	82,79	17,21	88,17
Cociente Verde/MIR agua	6,46	93,54	
MIR tierra	95,69	4,31	82,79
MIR agua	30,11	69,89	
PCA1 tierra	93,54	6,46	84,94
PCA1 agua	23,66	76,34	

Los píxeles lindantes a la separación entre ambas coberturas fueron los más difíciles de identificar, debido a la presencia de sedimentos con diferentes porcentajes de humedad. En general, estos píxeles corresponden a zonas intermareales, que quedan descubiertas durante las mareas bajas. A los propósitos de este trabajo, estos píxeles serán considerados como parte de la cobertura de agua.

La variable seleccionada fue el cociente verde/MIR, ya que mostró un alto porcentaje de coincidencia entre coberturas (un 88,17% del total de puntos de validación). La distinción de esta variable sobre las restantes radica en que las variables MIR y PCA1 confundieron en un 30,11% y 23,66% respectivamente la cobertura agua con la de tierra, mientras que este porcentaje fue menor en el cociente verde/MIR, con un 6,46%. La mayor parte de los píxeles *agua* asignados a categorías *tierra* por las dos primeras variables se localizan en la cercanía de Punta Piedras, sobre zonas intermareales con sedimentos húmedos.

Detección y cuantificación de cambios entre fechas

Análisis visual: composición RGB.

Con el objetivo de realizar una interpretación visual de los cambios en la línea de costa entre las tres fechas seleccionadas, se elaboró una composición RGB multitemporal (R=1984, G=2000, B=2015) en base al cociente verde/MIR, variable seleccionada por su alto porcentaje de coincidencia entre coberturas.

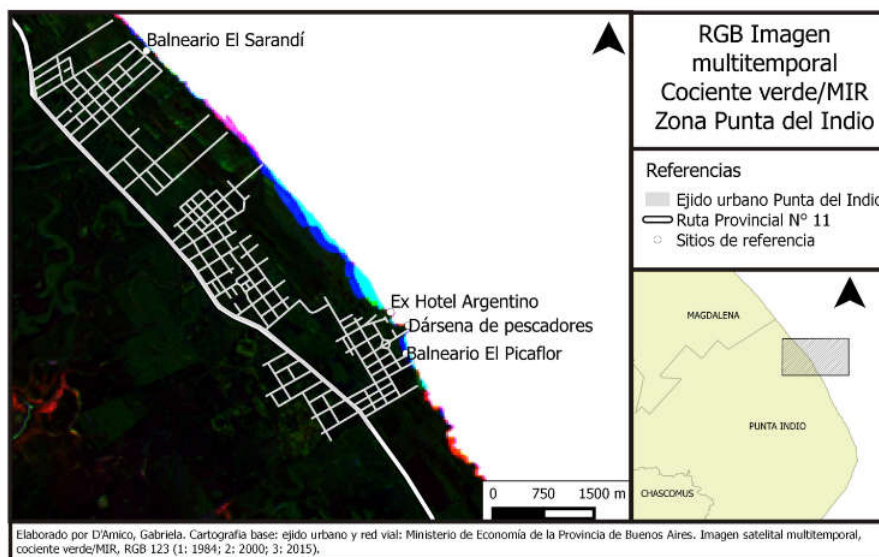


Figura 5: Imagen multitemporal RGB 123 para el cociente verde/MIR (1=1984, 2=2000, 3=2015), detalle zona Punta del Indio. Fuente: elaboración propia.

En la figura 5, puede observarse como el sector costero presenta los mayores cambios entre periodos. El cociente verde/MIR aporta como resultado una imagen donde el agua presenta altos valores de reflectancia (observados como brillo en la imagen). Los colores rojo, verde y azul, y sus derivados amarillo, magenta y cian, deben ser interpretados como la ausencia o presencia de agua durante periodos.

A la luz de este análisis, los distintos colores representan áreas erosionadas y acrecionadas para cada periodo y el total del mismo. La erosión queda representada en colores cian (1984-2000) y azul (2000-2015), mientras que una pequeña superficie en color verde presenta erosión para el periodo 1984-2000, y acreción para el periodo siguiente. La acreción para el periodo 1984-2000 es representada por los colores rojo y naranja. En color magenta, se representa acreción sólo existente para el periodo 1984- 2000 y erosión para el periodo siguiente.

Análisis cuantitativo

En base a las clases identificadas con el análisis visual de la imagen multitemporal generada a partir del cociente verde/MIR, se efectuó una clasificación supervisada de 8 clases. En la figura 6, se presentan los perfiles espectrales para píxeles seleccionados de cada clase, a las cuales se les agregó las clases de tierra y agua, teniendo en cuenta los píxeles de dichas coberturas que permanecieron estables en todo el periodo. Posteriormente, se enmascararon los píxeles de tierra para eliminar coberturas de agua presentes en ella, asociadas a cursos de arroyos y bañados. Por último, se calcularon las superficies acrecionadas y erosionadas entre periodos en base al estadístico de cada clase.

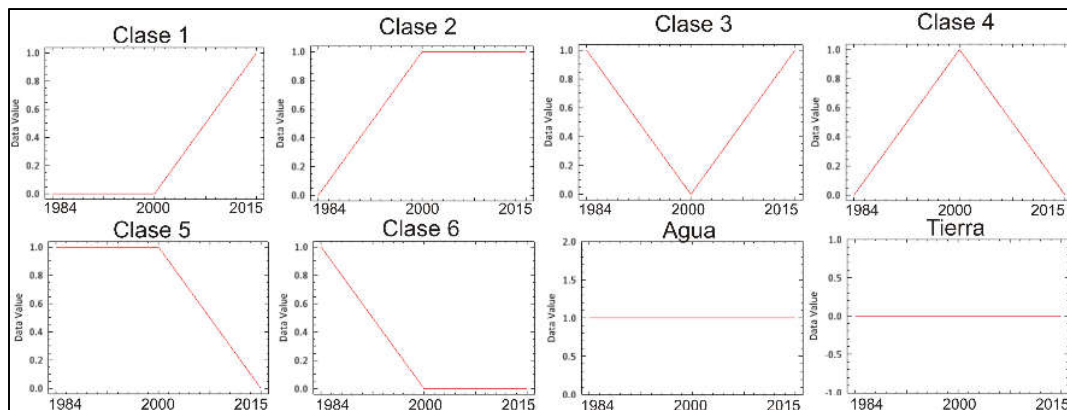


Figura 6: Perfiles espectrales de píxeles seleccionados para cada clase identificada en la imagen multiespectral del cociente verde/MIR.

En la figura 7, se visualizan las clases resultantes de la clasificación supervisada efectuada, distinguiendo entre superficies erosionadas y acrecionadas según periodos.

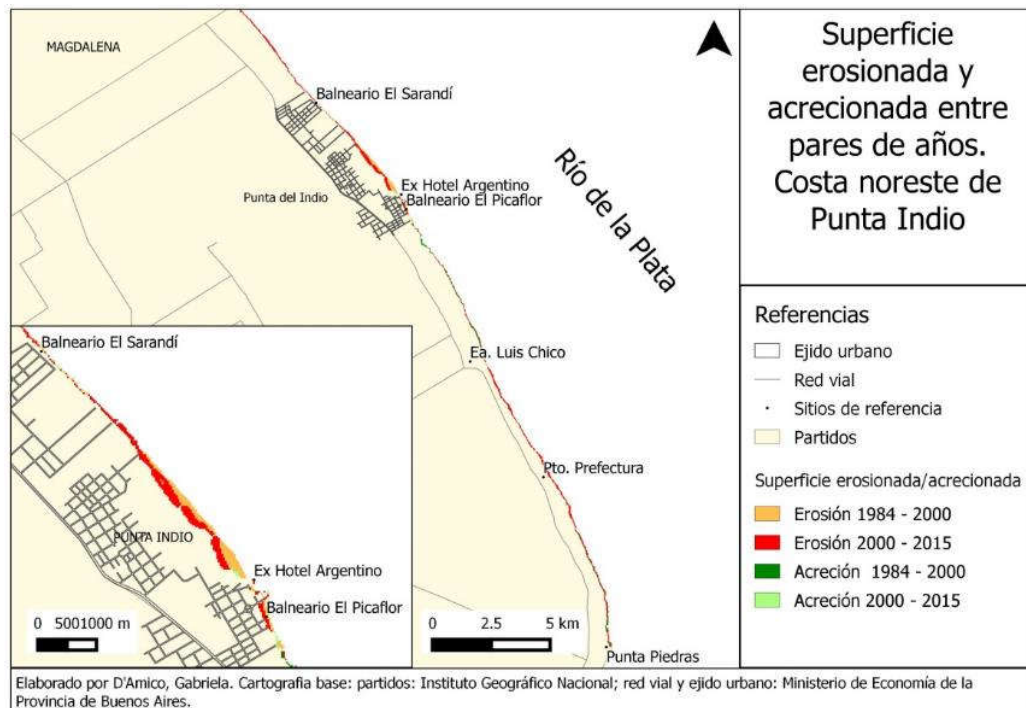


Figura 7. Superficie erosionada y acrecionada entre periodos. La intensidad del color indica intensidad de los procesos. Fuente: elaboración propia.



Tabla 2: Cantidad de superficie erosionada y acrecionada entre periodos. Fuente: elaboración propia.

Proceso	Superficie en km2	Superficie en hectáreas
Erosión 1984-2000	0,33	33
Erosión 2000-2015	1,45	145
Acreción 1984-2000	0,81	81
Acreción 2000-2015	0,03	3,6

El análisis cuantitativo arrojó como resultado que los procesos erosivos han sido los predominantes, aunque los mismos se intensifican en la zona aledaña al ex Hotel Argentino y el balneario El Picaflor, en la localidad de Punta del Indio (ver figura 7, detalle). Hacia el norte (Balneario el Sarandí) y sur (Ea. Luis Chico y Pto. Prefectura), el proceso erosivo se manifiesta con menor intensidad. El ritmo de erosión es superior en el periodo 2000-2015, donde se perdieron aproximadamente 145 hectáreas de superficie.

Si bien el retroceso de la línea de costa ha sido el fenómeno dominante, cabe destacar que el mismo se alterna con ciclos de acreción. Estos cambios se observan en las superficies acrecionadas sólo para el periodo 1984-2000, proceso que se transforma en erosivo para el periodo siguiente (ver clase 3 y 4 en figura 6). Las áreas que registran procesos acrecionales se localizan entre el Balneario El Picaflor y la Ea. Luis Chico, y en las cercanías de Punta Piedras. Se observa un ritmo de acreción superior en el periodo 1984-2000.

CONCLUSIONES

Las ventajas en la utilización de imágenes satelitales de resolución media, como las de las series Landsat, son la disponibilidad de series históricas de imágenes (desde el año 1982 con una resolución de 30 metros), su bajo o nulo costo de adquisición, y la gran cantidad de técnicas de procesamiento disponibles. La efectividad para realzar la línea de costa en aquellas de régimen micromareal es aceptable, mientras que en costas con regímenes macromareales el error de cálculo puede acrecentarse.

En base al análisis multitemporal, se detectó la predominancia de procesos erosivos sobre los procesos de acreción, aunque dichas dinámicas se alternan con cierta periodicidad, como puede observarse en la superficie acrecionada y erosionada sólo para el año 2000, proceso que se revierte en los años 1984 y 2015 (ver figura 6 y tabla 2). La dinámica erosiva se concentra en las cercanías de la localidad de Punta del Indio, disminuyendo su intensidad hacia el norte de la localidad y entre la Ea. Luis Chico y el Pto. de Prefectura. Dicho proceso se manifiesta con mayor intensidad en el último periodo (2000-2015).

Los procesos acumulativos, en tanto, acusan una intensidad menor, y se concentran entre el Balneario El Picaflor y la Ea. Luis Chico, y en cercanías de Punta Piedras fundamentalmente en el primer periodo (1984-2000).

Según registros en fuentes cartográficas históricas, la zona más erosionada presentaba una fisonomía de “punta” -Punta Memoria - hacia fines del siglo XIX, siendo ocupada por dos hoteles en la década de 1940, durante el periodo en que la organización territorial conformó una vocación turística. Hoy derruidos, las bases de los mismos están interrumpiendo la erosión completa de la punta. Teniendo en cuenta la vocación turística que históricamente ha caracterizado a esta localidad, el elevado ritmo de erosión en el principal balneario de la misma

(ver mapa 1) puede afectar en el mediano plazo dicha actividad, y en consecuencia, a la economía de dicha localidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Chuvieco, E.. 1995 Fundamentos de teledetección ambiental. Segunda Edición. Ediciones RIALP S.A. Madrid, España.
- Ferrero, B., Palacio M. y Campanella; O. 2005. Análisis de componentes principales enteledetección. Consideraciones estadísticas para optimizar su interpretación. Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina. <http://dx.doi.org/10.7848/ksgpc.2013.31.6-2.52>
- Hung, T. y Tuyen, V. 2014. 'Monitoring coastal dynamics using landsat multi-temporal images'. Vestnik OrelGAU, 1 (56).
- Inzana, J.; Kusky, T.; Higgs, G.; Tucker, R. 2003. 'Supervised classifications of Landsat TM band ratio images and Landsat TM band ratio image with radar for geological interpretations of central Madagascar'. Journal of African Earth Sciences. Volume 37, Issues 1–2. Pages 59–72. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S089953620300071X>
- Kokot, R, Angaramo, D, Valladares, A. 2011. "Costa y ribera en Claromecó, provincia de Buenos Aires". Revista de la Asociación Geológica Argentina. Número 68. Páginas 72 – 83.
- Lan, P.T., Son, T.S., Gunasekara, K., Nhan, N.T., Hien, L.P. 2013. 'Application of Remote Sensing and GIS technology for monitoring coastal changes in estuary area of the Red river system, Vietnam'. Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography. Volume 31. No. 6-2. Pages 529-538. <http://dx.doi.org/10.7848/ksgpc.2013.31.6-2.529>.
- Menendez, M. y Re, N. 2005. "Hidrología del Río de la Plata". En: Barros, Menendez y Nagy. 2005. El cambio climático en el Río de la Plata. CIMA. Buenos Aires.
- Nagy, Martinez, Caffera, Pedrosa, Forbes, Perdomo, Lopez Laborde. 1997. "Marco hidrológico y climático del Río de La Plata". En Wells, P.G. y Daborn, G.R. 1997. El río de La Plata. Una revisión ambiental. Un Informe de antecedentes del proyecto EcoPlata. Dalhousie University. Halifax, Nova Scotia, Canadá.
- Pardo Pascual, J.E., Ruiz Fernández, L.A., Almonacid, J. y Calaf, X. 2008. Detección automática de cambios en la línea de costa a partir de imágenes de satélite de resolución media. IX Congreso Nacional Top-Cart. Valencia, España.
- Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol. 31, No. 6-2, 529-538, 2013
- Rodríguez, I. 1999. Evolución Geomorfológica del Delta del Ebro y prognosis de su evolución. Tesis doctoral. Universidad de Alcalá de Henares, España.
- Winarso, G. y Budhiman, S. 2001. "The potencial application remote sensing data for coastal study". Asian Conference on Remote Sensing. Singapore, November 2001. <http://www.crisp.nus.edu.sg/~acrs2001/pdf/084Winar.pdf>
- Rodriguez, I., Ramirez, J., Sanchez, M., Montoya, I. 2013. Estudios de erosión con satélite en costas micromareales. En: Alcántara, J., Montoya, I., Correa, I. (editores). II Manual de Métodos en Teledetección Aplicada a la Prevención de Riesgos Naturales en el Litoral. Programa Iberoamericano en Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Barcelona, España.
- Urien, C. 1972. "Río de la Plata Estuary environments". Geological Society of America Memoirs, N° 133: 213–234.